

## НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ КОНДЕНСАТОРНОГО САМОВОЗБУЖДЕНИЯ ОДНОФАЗНЫХ АСИНХРОННЫХ МАШИН

Г. А. СИПАЙЛОВ, Ю. А. РОМАНОВ, Ю. И. ПЕРЕЖИРОВ

(Представлена научным семинаром кафедр электрических  
машин и общей электротехники)

В настоящее время явление электромагнитной неустойчивости наряду с конденсаторным самовозбуждением используется в электроприводе для конденсаторного торможения асинхронных двигателей. Причем более рациональным способом торможения считается комбинированный, сочетающий как конденсаторное, так и динамическое торможение. При конденсаторном торможении кинетическая энергия вращающегося ротора преобразуется в электромагнитную, выделяющуюся в виде тепла в основном в стали и обмотке статора.

Наиболее эффективно конденсаторное торможение проявляется при несимметричном подключении емкости к фазам статора двигателя. В этом случае неравномерное распределение токов обуславливает различный нагрев фаз статора и приводит к появлению дополнительных потерь в роторе из-за возникновения обратно-вращающегося магнитного поля.

Простейший вариант схемы несимметричного конденсаторного самовозбуждения (или торможения) приведен на рис. 1, где емкость под-

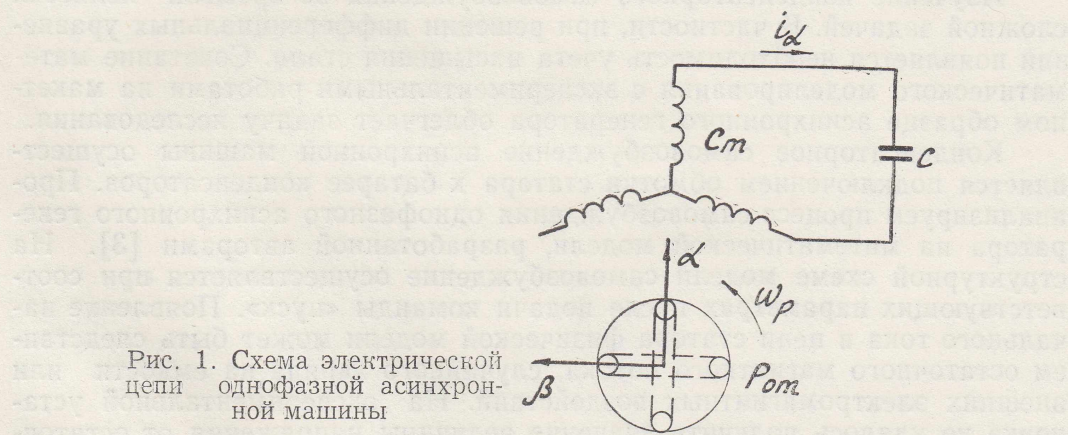


Рис. 1. Схема электрической цепи однофазной асинхронной машины

ключается к двум фазам статора, а третья фаза свободна. Приближенный анализ границ области самовозбуждения асинхронной машины на двух фазах показал, что необходимая емкость для возбуждения однофазной машины определяется из неравенства [1]:

$$C_1 > \frac{2}{\omega (x_{d1} + x'_{d1})}, \quad (1)$$



где

$\omega$  — угловая частота;

$x_{d1}$  — индуктивное сопротивление статора однофазной машины;

$x'_{d1}$  — переходное сопротивление статора однофазной машины.

Для удобства сравнения выбора необходимой емкости трех- и однофазных машин целесообразно рассматривать работу однофазной машины на двух фазах трехфазной, между параметрами которых существуют известные соотношения [2]:

$$x_{d1} = 2x_d, \quad x'_{d1} = 2x'_d. \quad (2)$$

Принимая во внимание (2), выражение (1) преобразуется

$$C_1 > \frac{1}{\omega(x_d + x'_d)}. \quad (3)$$

Общую емкость батарей конденсаторов по схеме треугольника, необходимую для возбуждения трехфазной машины, можно определить из соотношения:

$$C_\Delta > \frac{1}{\omega x_d}. \quad (4)$$

Сравнивая выражения (3) и (4), видим, что

$$\frac{C_\Delta}{C_1} = \left(1 + \frac{x'_d}{x_d}\right). \quad (5)$$

Как следует из (5), необходимая емкость батарей конденсаторов для возбуждения трехфазных и однофазных асинхронных машин примерно одинакова, если  $x'_d \ll x_d$ . При конденсаторном торможении, когда имеет место значительное насыщение стали, выражение  $x'_d/x_d$  оказывает существенное влияние. Как показали экспериментальные исследования, с возрастанием  $C_\Delta$  и  $C_1$  увеличивается насыщение стали, при этом значение  $C_\Delta/C_1$  изменяется и достигает 1,3. При однофазном конденсаторном самовозбуждении обратно-вращающегося магнитного поле увеличивает потери энергии, поэтому представляет интерес изучение физических процессов, обусловленных электромагнитной неустойчивостью однофазных асинхронных машин.

Изучение конденсаторного самовозбуждения во времени является сложной задачей. В частности, при решении дифференциальных уравнений появляется необходимость учета насыщения стали. Сочетание математического моделирования с экспериментальными работами на макетном образце асинхронного генератора облегчает задачу исследования.

Конденсаторное самовозбуждение асинхронной машины осуществляется подключением обмотки статора к батарее конденсаторов. Проанализируем процесс самовозбуждения однофазного асинхронного генератора на математической модели, разработанной авторами [3]. На структурной схеме модели самовозбуждение осуществляется при соответствующих параметрах после подачи команды «пуск». Появление начального тока в цепи статора физической модели может быть следствием остаточного магнитного потока, случайного заряда на емкости или внешних электромагнитных воздействий. На экспериментальной установке не удалось получить значение величины напряжения от остаточного потока менее 0,5% от номинального, при этом самовозбуждение происходило более длительное время по сравнению с вариантом, когда циклы самовозбуждения следуют один за другим. Наличие остаточного потока в машине или начального напряжения на емкости сокращает время возбуждения генератора. Самовозбуждение на структурной схеме модели происходит при нулевых начальных значениях напряжения на интеграторах, то есть от внешних электромагнитных возмущений.



С появлением первоначальной энергии в цепи происходит непрерывный обмен между машиной и электрическим полем емкости. Постепенно эта энергия рассеивается на потери. При определенных соотношениях параметров колебательной цепи (когда вещественная составляющая комплексных корней характеристического уравнения больше нуля) происходит отбор энергии со стороны ротора. При линейности параметров системы машина — емкость и постоянстве скорости вращения ротора увеличение тока и напряжения теоретически может продолжаться до бесконечности. В действительности при самовозбуждении рост тока ограничивается нелинейностью цепи (в асинхронной машине — насыщением стали). Очевидно, появление стационарного режима при самовозбуждении происходит тогда, когда вся энергия, соответствующая механическому моменту на валу ротора, рассеивается в активных сопротивлениях цепей машины.

При всяком изменении тока статорной цепи однофазного АГ в продольной оси обмотки ротора наводится трансформаторная э.д.с., ток которой препятствует проникновению магнитного потока в контур ротора и вытесняет его за пределы этого контура. Увеличение амплитуды поперечной составляющей тока ротора явно запаздывает (рис. 2). Это

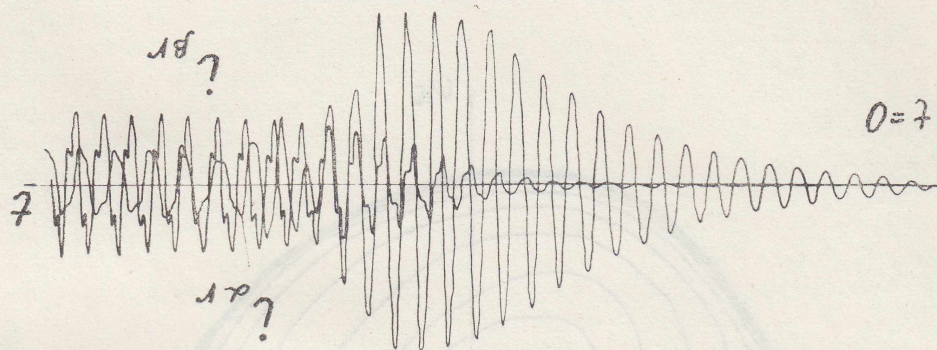


Рис. 2. Изменение свободных составляющих тока ротора  $i_{ag}$ ,  $i_{br}$  при самовозбуждении однофазной асинхронной машины

может быть объяснено замедленным проникновением потока реакции якоря в контуры обмотки ротора. Увеличение тока статора сопровождается демпфированием потока обмоткой ротора. Такой процесс продолжался бы бесконечно долго в случае, если  $R_r = 0$ . Поток никогда бы не проник в ротор, и в машине существовал бы пульсирующий поток от случайных токов, отсутствовал асинхронный момент и как следствие — самовозбуждение. Но в реальных машинах  $R_r > 0$ . Это приводит к постепенному проникновению потока реакции статора в контуры обмотки ротора.

Увеличение результирующего вектора потока в зазоре происходит не монотонно (рис. 3), налицо явно выраженные пульсации удвоенной частоты. Причем амплитуда этих пульсаций в процессе возбуждения сначала возрастает, достигает своего максимума в период наибольшей степени роста напряжения генератора и спадает в установившемся режиме. Наличие пульсации потока во времени может быть объяснено эллипсоидным характером вращения поля в зазоре машины. Изменение потока в воздушном зазоре в процессе возбуждения наглядно иллюстрируется годографом вектора  $\psi$  на рис. 4. Движение геометрического конца вектора  $\psi$  происходит по траектории эллипса, причем большая ось занимает промежуточное положение между продольной и поперечной осями машины  $\alpha$  и  $\beta$ . Это свидетельствует о том, что в процессе возбуждения максимальный поток в зазоре машины не соответству-



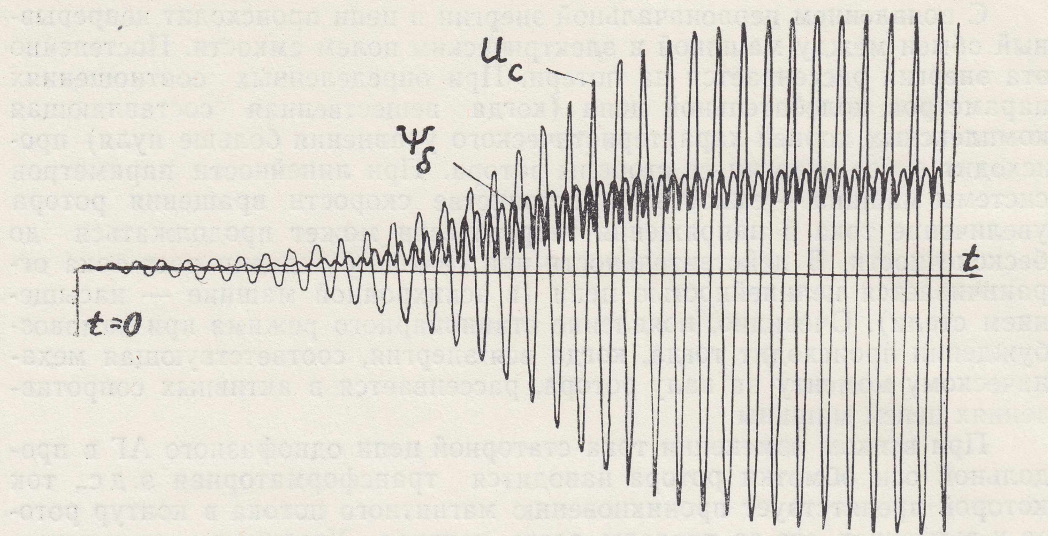


Рис. 3. Осциллограмма напряжения на емкости и потока в зазоре однофазной асинхронной машины

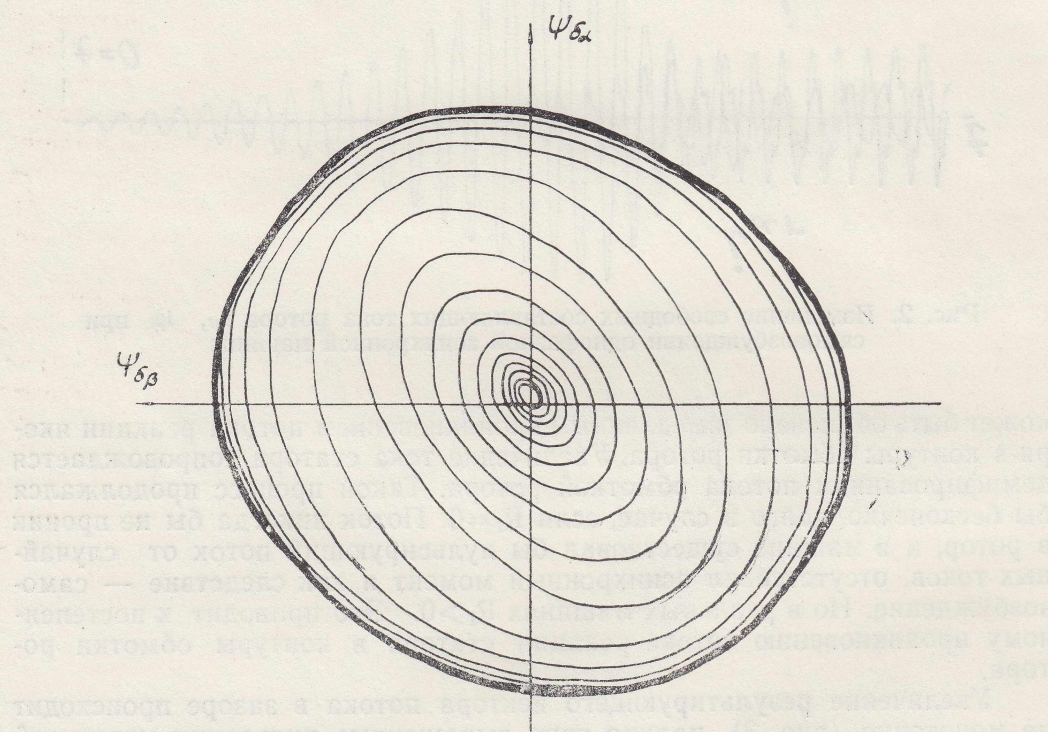


Рис. 4. Осциллограмма вектора потока

ет во времени максимальному току в статоре. Лишь в возбужденном состоянии годограф вектора потока приближается к окружности и пульсации удвоенной частоты ослабевают.

Часть энергии магнитного потока машины участвует в зарядке конденсатора. Очевидно, можно предположить, что амплитуда пульсации результирующего вектора потока в зазоре пропорциональна максимуму энергии, запасаемой в емкости в момент  $u_c = U_{cm}$  (рис. 5). Из осциллограммы рис. 5 видно, что с уменьшением тока статора увеличивается



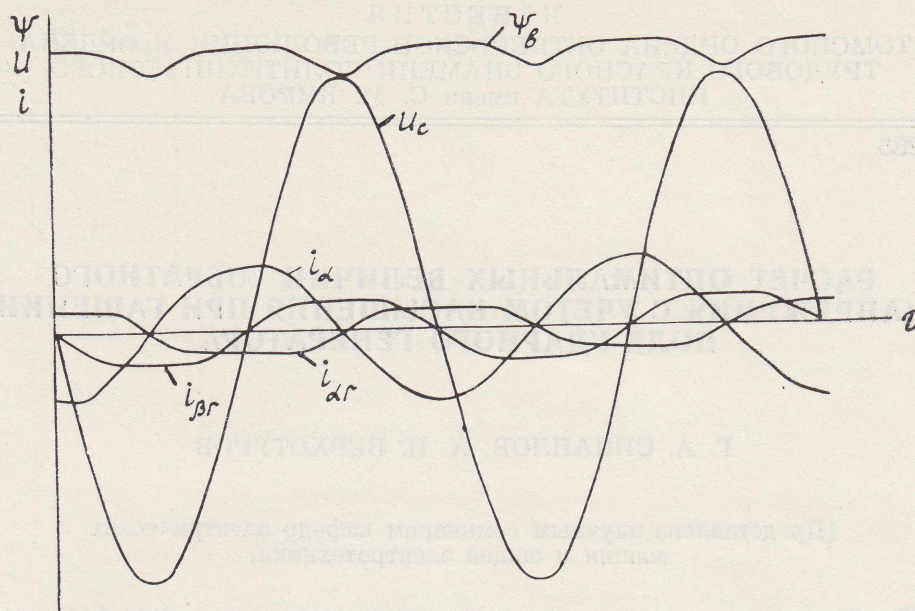


Рис. 5. Расчетные кривые тока, напряжения и потока при установившемся самовозбуждении А. М

поперечная составляющая тока ротора  $i_{\beta r}$ , стремящаяся поддерживать поток постоянным, однако он изменяется и в момент  $i_{\alpha} = 0$  достигает своего минимума. При увеличении тока статора от 0 до  $I_m$  поток  $\psi_b$  изменяется от  $\psi_{\min}$  до  $\psi_{\max}$ . Расчеты показывают, что пульсации потока наблюдаются и при сверхпроводящей к. з. обмотке ротора. Как и следовало ожидать, составляющая  $i_{\alpha r}$  находится в противофазе току статора. Только наличие потока в роторе обуславливает существование поперечной составляющей  $i_{\beta r}$ , которая стремится поддерживать поток постоянным.

Таким образом, проведенные исследования показали, что одним из наиболее рациональных способов конденсаторного торможения асинхронных машин является однофазное торможение (на двух фазах трехфазной). В этом случае при значительном насыщении стали требуется меньшая емкость по сравнению с трехфазным конденсаторным торможением, кроме того, при этом увеличивается тормозной эффект за счет повышенных потерь энергии от обратно-вращающегося магнитного поля. Обратно-вращающееся магнитное поле в наибольшей мере проявляется в процессе самовозбуждения, когда происходит увеличение амплитуды тока и напряжения статора. Величина энергии, участвующая в обмене между машиной и емкостью, много меньше энергии, запасенной в магнитном поле двигателя.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. А. Романов, Г. А. Сипайлов. О самовозбуждении однофазного асинхронного ударного генератора. Электронные ускорители. Труды VII межвузовской конференции по электронным ускорителям. Вып. 3, 1970.
2. К. П. Ковач, И. Рац. Переходные процессы в машинах переменного тока. Госэнергоиздат, 1963.
3. Ю. А. Романов, Г. А. Сипайлов. Анализ работы асинхронного ударного генератора с применением АВМ. Изв. ТПИ, т. 212, 1971.